

## ZATÍŽENÍ KONSTRUKCÍ

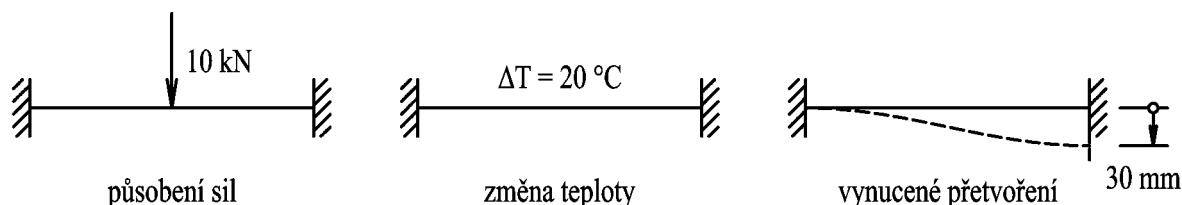
Problematika je vyložena ve smyslu normy ČSN 73 0035 *Zatížení stavebních konstrukcí*.

### Definice a základní pojmy

*Zatížení* je jakýkoliv jev, který vyvolává změnu stavu napjatosti konstrukce.

V technické praxi se setkáváme s následujícími zatěžovacími jevy (viz obr.):

- působení sil na konstrukci (bude procvičeno),
- změna teploty konstrukce nebo její části,
- vynucené přemístění části konstrukce.



Obr. – Zdroje zatížení

Silové účinky a vynucená přemístění se dále podle charakteru odezvy konstrukce rozlišují jako

- statické zatížení, které nevyvolává významná zrychlení konstrukce (bude procvičeno),
- dynamické zatížení, které vyvolává významná zrychlení konstrukce, tzn. je třeba počítat s vlivem setrvačných sil.

Vnější síly se dále podle idealizované dimenze rozlišují jako

- objemové síly  $q^{3D}$  (kN/m<sup>3</sup>),
- plošné síly  $q^{2D}$  (kN/m<sup>2</sup>),
- liniové síly  $q^{1D}$  (kN/m'),
- osamělé síly  $F$  (kN).

Podle potřeby je možné mezi nimi provádět přepočty (viz obr.):

$$q^{2D} = q^{3D} \cdot t,$$

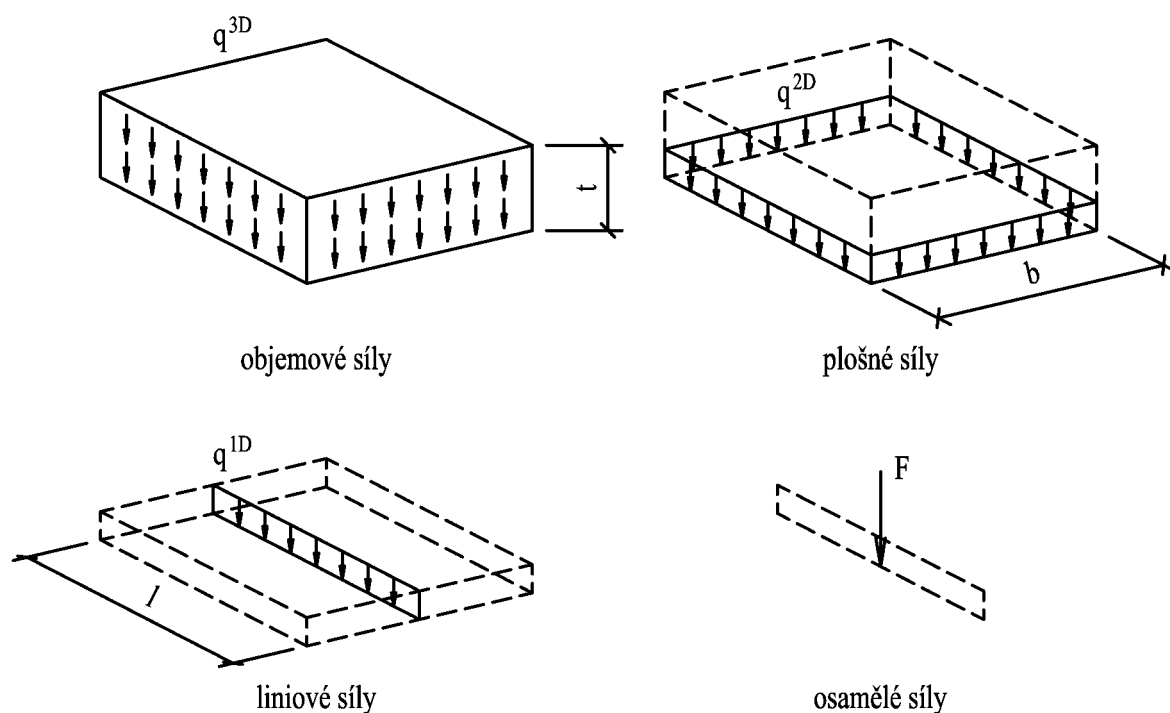
$$q^{1D} = q^{2D} \cdot b,$$

$$F = q^{1D} \cdot l,$$

kde  $t$  ..... zatěžovací tloušťka,

$b$  ..... zatěžovací šířka,

$l$  ..... zatěžovací délka.



Obr. – Spojité a osamělé síly

## Klasifikace a příklady zatížení

Podle proměnnosti v čase se rozeznávají:

- stálá zatížení*  $G$ , která působí po celou dobu trvání konstrukce, jejich velikost, poloha i směr se v čase nemění,
- nahodilá zatížení*  $Q$ , která nepůsobí po celou dobu trvání konstrukce, jejich velikost, poloha i směr se mohou v čase měnit,
- mimořádná zatížení*  $A$ , která se vyskytují jen ve výjimečných případech, obvykle v důsledku katastrofálních událostí.

Příklady zatížení konstrukcí pozemních staveb:

- stálá:
  - vlastní tíhou konstrukce (bude procvičeno),
  - zemním a horninovým tlakem,
  - předpětím,
- nahodilá:
  - užitná:
    - provozem a vybavením (bude procvičeno),
    - stroji a zařízením,
    - skladovaným materiálem,
    - vysokozdvížnými vozíky,
    - jeřáby,
    - silničními (motorovými) vozidly,

- klimatická:
    - sněhem (bude procvičeno),
    - větrem (bude procvičeno),
    - námrazou,
    - klimatickými teplotami,
  - vynuceným přetvořením:
    - od provozních teplot,
    - smršťováním a dotvarováním betonu,
    - poddolováním a poklesem podpor,
- c) mimořádná:
- zemětřesením,
  - výbuchem,
  - havarijním narušením technologického procesu,
  - havarijním přetvořením základů.

## Hodnoty zatížení z hlediska spolehlivosti

Úplný popis zatížení je dán čtyřmi základními vlastnostmi: výskytem, intenzitou (velikostí), dobou trvání a opakováním zatížení. Tyto vlastnosti jsou náhodné veličiny, které lze popsat pravděpodobnostními metodami – zatížení má tedy stochastický charakter.

### Charakteristiky zatížení

K praktickému výpočtu se používá metoda dílčích součinitelů, která je upravena tak, že má deterministický tvar.

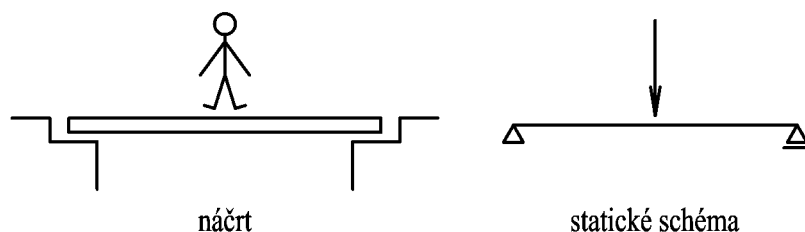
Zavádějí se následující charakteristiky zatížení:

- *normová hodnota zatížení* (normové zatížení)  $F_n$  – hodnota, kterou můžeme v průběhu užívání konstrukce skutečně očekávat,
- *součinitel zatížení*  $\gamma_f$  – vyjadřuje náhodné odchylky zatížení od normových hodnot,
- *výpočtová hodnota zatížení* (výpočtové zatížení)  $F_d$  – hodnota, která může být překročena jen s definovanou minimální pravděpodobností; stanoví se z výrazu

$$F_d = \gamma_f \cdot F_n.$$

Při výpočtu konstrukce se používá výpočtové zatížení.

Pro ilustraci uvedme elementární případ nosníku zatíženého jednou osobou (např. lávka – viz obr.).



Obr. – Zatížení osobou

Zatížení osobou je dáno její hmotností, která, jak víme, je proměnlivá – 100 kg se bere jako běžně se vyskytující maximum, které determinuje právě normovou hodnotu zatížení ( $F_n = 1$  kN).

Zřejmě se však v ojedinělých případech setkáváme i s osobou vážící přes 100 kg – takové odchylky jsou zahrnuty právě v součiniteli zatížení, např.  $\gamma_f = 1,2$ .

### Diferenciace výpočtových hodnot podle sledovaného mezního stavu

1. skupina mezních stavů (*mezní stavy únosnosti*) představuje zřícení konstrukce v důsledku vyčerpání pevnosti materiálu, ztráty stability polohy apod. Tzn. pokud nenastane mezní stav únosnosti, tak je zajištěna samotná existence konstrukce.

Při výpočtu podle 1. skupiny mezních stavů se používá *extrémní výpočtové zatížení*, jež je dáno vztahem

$$F_{du} = \gamma_{fu} \cdot F_n.$$

Pravděpodobnost vzniku mezního stavu únosnosti je řádově v tisícinách procenta; součinitel zatížení v mnoha případech  $\gamma_{fu} > 1,0$  (podrobnosti jsou v normě pro zatížení).

2. skupina mezních stavů (*mezní stavy použitelnosti*) představuje ohrožení provozuschopnosti (funkčnosti) konstrukce v důsledku nadměrných deformací. Tzn. pokud nenastane mezní stav použitelnosti, tak je zajištěn nerušený provoz konstrukce.

Při výpočtu podle 2. skupiny mezních stavů se používá *provozní výpočtové zatížení*, jež je dáno vztahem

$$F_{ds} = \gamma_{fs} \cdot F_n.$$

Pravděpodobnost vzniku mezního stavu použitelnosti je řádově v procentech; součinitel zatížení ve většině případů  $\gamma_{fs} = 1,0$  (podrobnosti jsou v normách pro navrhování).

Poznámka – Často se při zpracování statických výpočtů setkáváme se zjednodušením pojmů a značek. Uvádí se (ne zcela přesně), že pro výpočet mezního stavu použitelnosti bereme zatížení normové  $F_n$  (tzn. charakteristiky  $F_{ds}$  a  $\gamma_{fs}$  vypouštíme) a pro výpočet mezního stavu únosnosti bereme zatížení výpočtové  $F_d = \gamma_f \cdot F_n$  (tzn. vypouštíme adjektivum „extrémní“ a u symbolů  $F_{du}$  a  $\gamma_{fu}$  vynecháváme index  $u$ ). Tohoto zjednodušení budeme užívat i v dalším výkladu.

## Některé druhy zatížení

### Tíha konstrukcí (z třídy stálých zatížení)

Tíha konstrukcí se skládá z vlastní tíhy nosné konstrukce a tíhy nenosných prvků.

Normová tíha konstrukcí se stanoví podle geometrických a konstrukčních parametrů uvedených v projektu a podle hodnot objemové hmotnosti použitých materiálů. Objemová hmotnost  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ) se převádí na objemovou tíhu  $\gamma$  ( $\text{kN/m}^3$ ) pomocí tíhového zrychlení  $g = 0,01 \text{ kN/kg}$ .

Součinitel zatížení se obvykle bere

- $\gamma_f = 1,1$  pro nosné konstrukce,
- $\gamma_f = 1,2$  pro konstrukce a výrobky nenosné, zhotovené v dílnách,
- $\gamma_f = 1,3$  pro konstrukce a výrobky nenosné, zhotovené na staveništi.

Poznámka – Objemové hmotnosti celé řady staviv a stavebních výrobků jsou obsaženy v rozsáhlé příloze k normě pro zatížení.

### Užitná zatížení stropů a střech (z třídy nahodilých zatížení)

Užitná zatížení stropů a střech (také schodišť, teras a balkónů) představují zatížení od lidí, zvířat, zařízení, výrobků, materiálů, dopravních prostředků, technologických zařízení a jiných částí objektu, jejichž poloha se může v čase měnit.

Skutečné působení užitných zatížení lze nahradit rovnoměrným zatížením – normová hodnota závisí na způsobu užívání (viz příložený arch) a nabývá hodnot

- pro stropy  $1,5 \text{ kN/m}^2 \leq v_n \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$ ,
- pro střechy  $0,75 \text{ kN/m}^2 \leq v_n \leq 4,0 \text{ kN/m}^2$ .

Součinitel zatížení nabývá hodnot  $1,2 \leq \gamma_f \leq 1,4$  (rovněž viz příložený arch).

Tab. 3. UŽITNÁ ROVNOMĚRNÁ NORMOVÁ ZATÍŽENÍ  
STROPŮ A STŘECH

Poř. čís.	Místnosti a prostory	Normové zatížení <sup>1)</sup> kN · m <sup>-2</sup>
1.	Byty včetně předstíni a chodů, pokoje ubytoven, hotelů, místnosti v dětských školách a těšic, ložnice školních internátů a zotavoven, pokoje sanatorií, nemocnic, poliklinik a jiných léčebných zařízení, lékařské ordinace a čekárny	1,5
2.	Pokoje a kancelářské místnosti vědeckých institucí, administrativních budov, úřadů, učebny škol i jiných zařízení pro výuku s výjimkou místností, kde se předpokládá umístění těžkého zařízení nebo skladování materiálů	2,0
3.	Dvory, chodby a schodiště <sup>2)</sup> v budovách s místnostmi uvedenými pod poř. č. 1 a 2, s výjimkou školských zařízení	3,0
4.	Poslechárny, sály jidel, kavárny a restaurací	3,0
5.	Shromažďovací místnosti a taneční sály, sály vědeckých institucí i administrativních budov, veřejné místnosti nádraží, sály divadel, kin, klubů, koncertní síně, sportovní haly, tribuny se stálými sedadly	4,0
6.	Prodejní místnosti, místnosti muzeí, výstavní sály a pavilony	podle technologických údajů, nejméně však 4,0
7.	Kulturní, archivy, tribuny k slání, jeviště divadel	podle technologických údajů, nejméně však 5,0
8.	Dvory, chodby a schodiště <sup>2)</sup> jidel, kavárny, restaurací, škol, nádraží (jejich veřejné části), divadel, kin, klubů, koncertních síní, sportovních hal, obchodních domů, muzeí, výstavních síní a pavilonů, knihoven a archivů průmyslových budov	4,0
9.	Chodby a schodiště <sup>2)</sup> k tribunám všeho druhu, nástupiště, veřejné dopravy	5,0
10.	Plůdy	kromě tří stálého zatížení 0,75
11.	Terasy a ploché střechy (se sklonem nejvýše 3 %): a) nepřístupné (s výjimkou přístupu jednotlivců z řad technické služby) aa) prvky zastřešení o rozpětí do 9 m, ab) prvky zastřešení o rozpětí větším než 9 m, b) v částech určených pro odpočinek, pozorování apod. účely, kde nedochází k velkému shlukování lidí, c) v částech, kde je možnost shlukování velkého počtu lidí, vycházejících z výroben, postelchárny, sálů apod.	0,75 <sup>3)</sup> zatížení sněhem podle části V-A 2,0

Pokračování

Poř. čís.	Místnosti a prostory	Normové zatížení <sup>1)</sup> kN · m <sup>-2</sup>
12.	Balkóny: a) zatížení v pruhu širokém 0,8 m podle ohranzení balkónu, b) zatížení po celé ploše balkónu, je-li jeho účinek nepřiznatelnější nežli od zatížení podle d).	4,0 <sup>4)</sup> 2,0 <sup>4)</sup>
13.	Lodě	zatížení stejné se zatížením souvisejících místností
14.	Místnosti hygienických zařízení a sociálních zařízení průmyslových závodů; zvláštní a pomocné místnosti obytných i občanských budov; zvláštní kabiny i laboratoře zdravotních, školních, vědeckých i kancelářských zařízení a ústavů, místnosti strojné-početních stanic, kuchyně veřejného stravování, technická podlaží, sklepní místnosti apod.	podle technologických údajů (viz čl. 69), avšak nejméně 2,0
15.	Místnosti a prostory pro výrobu a skladování: a) v úsecích vymezovaných pro stálé zařízení a dopravu, pro skladování a ukládání materiálů i výrobků, aa) při výpočtu desek a nosníků, ab) při výpočtu stěn, sloupů, základů apod., b) v úsecích bez zařízení, dopravy a skladovaného materiálu (prostoru pro obsluhu a údržbu zařízení apod.).	podle technologických údajů (viz čl. 69), avšak nejméně 5,0 nejméně 4,0 nejméně 1,5
16.	Zemědělské místnosti a prostory: a) pro drobná zvířata (těž bravy, ovce, kozy), b) pro velká zvířata (hovězí dobytek, koně apod.).	podle technologických údajů, avšak nejméně 2,0 nejméně 5,0
17.	Místnosti a prostory pojízdné silničními motorovými vozidly: a) v budovách určených pro garážování a parkování (včetně dopravních pruhů), aa) osobních automobilů a lehkých nákladních automobilů, jejichž celková hmotnost nepřesahuje 2,5 t; ab) nákladních a jiných automobilů, jejichž pohotovostní hmotnost nepřesahuje 2,5 t, ac) autobusů, nákladních a jiných automobilů, jejichž pohotovostní hmotnost nepřesahuje 2,5 t, b) v budovách určených pro opravu a servis vozidel všeho druhu, c) podsklepené příjezdy budov, podsklepené dvory a podobné prostory, které mohou být pojízdnými naloženými nákladními a jinými automobily.	2,5 <sup>6)</sup> 2,5 <sup>6)</sup> 5,0 <sup>6)</sup> podle technologických údajů, avšak nejméně 5,0 <sup>6)</sup> na úsecích stropu, které mohou být pojízdnými nejméně 10,0 <sup>7)</sup>
18.	Prostory umožňující nebo určené pro přistávání letadel se svými startem a přistáním: a) malých letadel (kategorie I a II podle tab. 26), b) středních letadel (kategorie III a IV podle tab. 26), c) velkých letadel (kategorie V podle tab. 26).	nejméně 3,0 nejméně 4,0 nejméně 5,0
19.	Střešní zařízení průmyslovým spádem	podle technologických údajů

Poznámky k tab. 3:
1) Zatížení podle poř. č. 1 až 5, 8, 9, 11 až 13, 18 se zpravidla pokládají za nahodilá zatížení krátkodobá. U ostatních zařízení je třeba rozhodnout o zazenění mezi dlouho- nebo krátkodobá podle zatížení poměrů příslušného případu ve smyslu čl. 37 a 38. Zazenění se obvykle provede podle toho, zda převládá zatížení dlouhodobé nebo krátkodobé.
2) Zatížení schodišť se vztahuje na podlahy, schodištní ramena a mezipodestý.
3) Zatížení se uvažuje jen tehdy, je-li jeho účinek nepříznivější než účinek od zatížení sněhem.
4) Zatížení se uvažuje jen při výpočtu nosných konstrukcí balkonů a částí stěn, v místech upnutí balkonů do stěn. Při výpočtu níže umístěných stěn, základů a založení na balkónech uvažovat zatížení podle souvisejících místností budovy.
5) U budov univerzálního charakteru, s pravidelným uspořádáním sálů a vodorovných nosných prvků nezávisle na technologickém zařízení, lze k určení rovnoměrného zatížení použít:
„Metodické pokyny Státní komise pro techniku pro stanovení a zmenšování náhodných rovnoměrných zatížení konstrukcí vícepodlažních průmyslových budov“. Vydal VÚPS Praha, 1969.
6) Hodnoty jsou stanoveny pro zatížení od celkové hmotnosti osobních automobilů a od pohotovostní hmotnosti nákladních automobilů. Pro naložené nákladní automobily je nutné hodnotu náhodného rovnoměrného zatížení stanovit zvláštním rozborrem. Garážování a parkování naložených vozidel se však v budovách nepředpokládá.
7) V případech, kdy nad podsklepeným prostorem se mohou pohybovat vozidla jako v běžném silničním provozu, je třeba uvažovat zatížení podle norem pro navrhování silničních mostů.

Tab. 4. SOUČinitele zatížení  $\gamma_f$  PRO UŽITNÁ ROVNOMĚRNÁ ZATÍŽENÍ  
STROPŮ, STŘECH A SCHODIŠTÍ

Poř. čís.	Normové hodnoty užitého rovnoměrného zatížení v kN · m <sup>-2</sup>	Součinitel zatížení $\gamma_f$ )
1.	$\gamma < 2,0$	1,4
2.	$2,0 \leq \gamma < 5,0$	1,3
3.	$\gamma \geq 5,0$	1,2

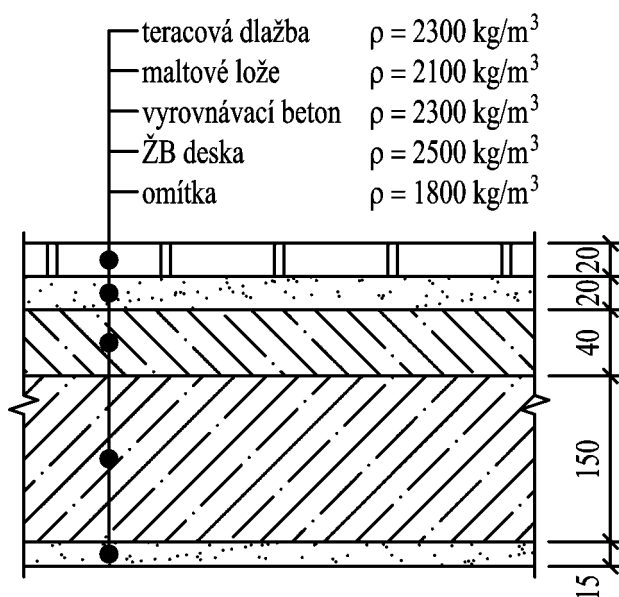
1) Pro náhradní rovnoměrné zatížení za zatížení zařízením a dopravou (tab. 3, poř. č. 14, 15a apod.), lze součinitele zmenšit v souladu s hodnotami uvedenými v tab. 6.

2) Hodnoty součinitelů nelze použít pro rovnoměrná zatížení od skladovaného materiálu apod. (tab. 3, poř. č. 15a), v prostorech, kde může dojít ke zjevnému překračování skladovacího zatížení a kde nelze dodržovat skladovacího zatížení (např. stanovením výšky skladovaných hmot, stanovením počtu kusů kladených na sebe). V takových případech je třeba součinitele upravit s přihlédnutím ke skutečným možnostem překročení ve výpočtu uvažovaného normového rovnoměrného zatížení skladovacím materiálem.

Poznámka – Vedle toho je také třeba uvažovat soustředěné zatížení působící samostatně na čtvercové ploše o straně 100 mm, které nabývá hodnot od 0,5 do 2,0 kN; součinitel zatížení pro užité soustředěné zatížení se bere  $\gamma_f = 1,2$ .

### Příklad

**Zadání.** Stanovte normové a výpočtové zatížení železobetonové stropní desky v chodbě administrativní budovy. Skladbu stropu uvažujte podle obr., zatížení vypočítejte pro pruh jednotkové šířky.



### Řešení

Zatížení předpokládáme spojitě rovnoměrné, jeho výpočet je přehledně uveden v následující tab.

Zatížení	normové (kN/m')	$\gamma_f$	výpočtové (kN/m')
• stálé			
teracová dlažba $23 \cdot 0,02 \cdot 1,0$	0,46	1,2	0,55
cementová malta $21 \cdot 0,02 \cdot 1,0$	0,42	1,3	0,55
vyrovnávací beton $23 \cdot 0,04 \cdot 1,0$	0,92	1,3	1,20
vlastní tíha desky $25 \cdot 0,15 \cdot 1,0$	3,75	1,1	4,13
vápenná omítka $18 \cdot 0,015 \cdot 1,0$	0,27	1,3	0,35
• nahodilé			
užitné $v_n = 3,0 \cdot 1,0$	3,0	1,3	3,9
celkem	8,82	—	10,68

K výpočtu uvádíme následující komentář.

Stálé zatížení (tíhou konstrukce) stanovíme pomocí objemových hmotností použitých materiálů a jejich rozměrů – viz obr. v zadání. Objemovou hmotnost  $\rho$  převedeme na objemovou tíhu  $\gamma$  pomocí tíhového zrychlení  $g$ . Tak např. pro nášlapnou vrstvu (teracovou dlažbu) dostáváme

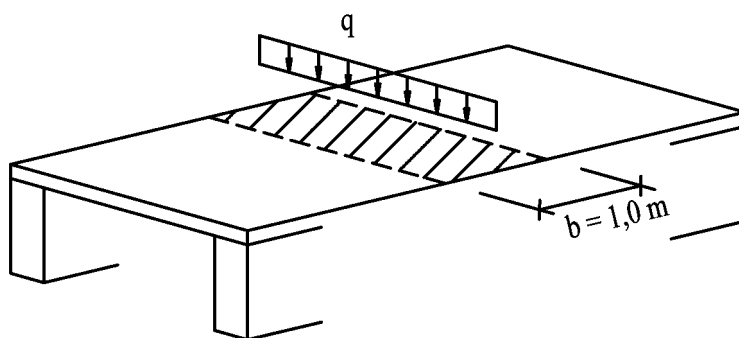
$$\gamma = \rho \cdot g = 2300 \cdot 0,01 = 23 \text{ kN/m}^3.$$

Tím jsme získali objemovou sílu  $q^{3D}$  ( $\equiv \gamma$ ), kterou převedeme na plošnou sílu  $q^{2D}$  pomocí zatěžovací tloušťky  $t$ . Takže dostaneme (opět pro teracovou dlažbu)

$$q^{2D} = q^{3D} \cdot t = 23 \cdot 0,02 = 0,46 \text{ kN/m}^2.$$

Tuto plošnou sílu dále převedeme na liniovou sílu  $q^{1D}$  pomocí zatěžovací šířky (v našem případě jednotkové šířky)  $b = 1,0 \text{ m}$ , viz obr. Tedy (znovu pro teracovou dlažbu)

$$q^{1D} = q^{2D} \cdot b = 0,46 \cdot 1,0 = 0,46 \text{ kN/m}.$$



Stejným způsobem stanovíme hodnoty spojitého zatížení ostatními vrstvami, které považujeme za zatížení normové  $q_n$ .

Výpočtové zatížení  $q_d$  získáme vynásobením normového zatížení  $q_n$  součinitelem zatížení  $\gamma_f$ . Hodnotu  $\gamma_f = 1,1$  uvažujeme pro prvky nosné, tedy pro železobetonovou desku; hodnotu  $\gamma_f = 1,2$  bereme pro nenosné prvky zhotovené v dílnách, čili pro teracovou dlažbu; konečně hodnotu  $\gamma_f = 1,3$  bereme pro nenosné prvky zhotovené na staveništi, tzn. pro maltové lože, vyrovnávací beton a omítku.

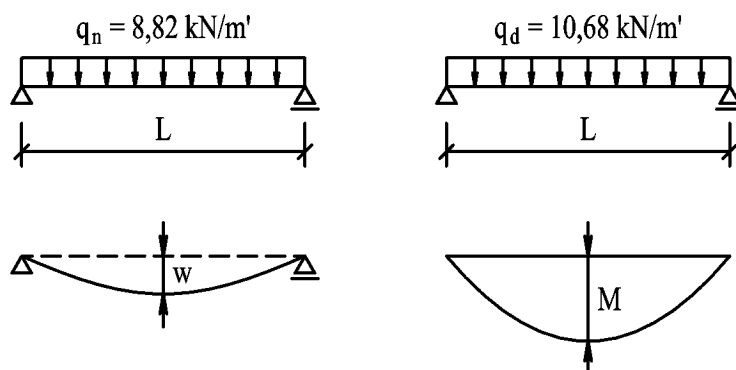
Nahodilé zatížení užitné stanovíme podle účelu místnosti (viz příložený arch, tab. 3, poř. č. 3) – tedy chodbě v administrativní budově odpovídá plošné normové zatížení  $v_n = 3,0 \text{ kN/m}^2$ . Liniové zatížení opět získáme vynásobením zatěžovací šířkou  $b = 1,0 \text{ m}$ .

Součinitel zatížení (pro stanovení výpočtového zatížení) bereme  $\gamma_f = 1,3$  (viz příložený arch, tab. 4, poř. č. 2).



Prostým součtem jednotlivých položek dostáváme výsledné zatížení

normové	$q_n = 8,82 \text{ kN/m'}$ ,
výpočtové	$q_d = 10,68 \text{ kN/m'}$ .



Doplňující poznámka – Normové zatížení se použije pro ověření mezního stavu použitelnosti, takže průhyb v případě prostého nosníku

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_n L^4}{EI} \leq w_{lim},$$

kde  $L$  je rozpětí,  $EI$  ohybová tuhost a  $w_{lim}$  mezní průhyb (pro stropy obvykle  $w_{lim} = L/250$ ).

Výpočtové zatížení se použije pro ověření mezního stavu únosnosti, takže ohybový moment v případě prostého nosníku

$$M = \frac{1}{8} \cdot q_d L^2 \leq M_{Rd},$$

kde  $L$  je rozpětí,  $M_{Rd}$  ohybový moment únosnosti (viz navazující kurzy betonových konstrukcí).

## ZATÍŽENÍ PODLE EUROKÓDU

Zpracováno dle ČSN P ENV 1991-1 (1996) + Z1 (1996), ČSN P ENV 1991-2-1 (1997), ČSN P ENV 1991-2-3 (1997) a ČSN P ENV 1991-2-4 (1997).

### Klasifikace zatížení (podle proměnnosti v čase)

Připomeňme, že v ČSN se rozeznávají:

- a) stálá zatížení  $G$ ,
- b) nahodilá zatížení  $Q$  (ta se dále rozlišují jako dlouhodobá  $Q_1$  a krátkodobá  $Q_2$ ),
- c) mimořádná zatížení  $A$ .

Pozn. – ČSN nezavádí označení  $G$ ,  $Q$  ani  $A$ , v dalším se však tyto symboly používají vzhledem k možnosti porovnávání.

V EC je to prakticky stejné, tedy:

- a) stálá zatížení  $G$ ,
- b) nahodilá zatížení  $Q$ ,
- c) mimořádná zatížení  $A$ .

### Hodnoty zatížení z hlediska spolehlivosti

#### „Izolovaný“ zatěžovací stav

Připomeňme, že v ČSN se zavádí pojem výpočtového zatížení, které se stanoví z obecného vztahu

$$F_d = \gamma_f \cdot F_n,$$

kde  $F_n$  ..... normové zatížení (tj. základní charakteristika zatížení),

$\gamma_f$  ..... součinitel zatížení (který vyjadřuje možné náhodné odchylky zatížení od normových hodnot).

V EC je to podobné, zavádí se pojem návrhového zatížení, které se stanoví z obecného vztahu

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k,$$

kde  $F_k$  ..... charakteristické zatížení (tj. základní reprezentativní hodnota zatížení),

$\gamma_F$  ..... dílčí součinitel zatížení (který přihlíží k možným nepříznivým odchylkám zatížení, k možným nepřesnostem modelu zatížení a k nejistotám v určení účinků zatížení).

## Zatěžovací stav v kombinaci s jinými. Kombinace zatížení

Připomeňme, že v ČSN:

a) pro stálá zatížení i nadále platí

$$F_d = \gamma_f \cdot F_n \Rightarrow G_d = \gamma_f \cdot G_n,$$

b) pro nahodilá zatížení platí

$$F_d = \psi_c \cdot \gamma_f \cdot F_n \Rightarrow Q_d = \psi_c \cdot \gamma_f \cdot Q_n,$$

kde  $\psi_c$  .....součinitel kombinace (který vyjadřuje zmenšenou pravděpodobnost současného působení jednotlivých zatížení v jejich výpočtových hodnotách ve srovnání s pravděpodobností působení těchto zatížení ve výpočtových hodnotách jednotlivě, nezávisle na sobě),  $\psi_c \leq 1,0$ .

Pravidlo pro sestavení kombinací zatížení je v ČSN definováno pouze slovně, přičemž matematicky jej lze zapsat jako součet vektorů zatížení vynásobených výše uvedenými součiniteli

$$F_d = \sum \gamma_{f,i} \cdot G_{n,i} + \psi_{c1} \cdot \sum \gamma_{f,i} \cdot Q_{1n,i} + \psi_{c2} \cdot \sum \gamma_{f,i} \cdot Q_{2n,i}.$$

Tento zápis představuje tzv. základní kombinaci; vedle toho se v jistých případech sestavují kombinace mimořádné, které obsahují též mimořádné zatížení.

V EC je to podobné:

a) pro stálá zatížení platí

$$G_d = \gamma_G \cdot G_k,$$

b) pro nahodilá zatížení platí

$$Q_d = \gamma_Q \cdot \psi \cdot Q_k,$$

kde  $\gamma_G, \gamma_Q$  ..dílní součinitel stálých zatížení a dílní součinitel nahodilých zatížení; jejich hodnoty se diferencují pro různé případy poruchy konstrukce (rozdělují se případy A, B, C – podrobnosti v normě); v dalším se omezíme na případ B (tj. porucha konstrukce nebo konstrukčních prvků závislá na pevnosti konstrukčního materiálu),

$\psi$  .....kombinační součinitel (který má analogický význam jako součinitel kombinace podle ČSN); rozlišuje se jako  $\psi_0$  (pro tzv. kombinační hodnotu  $Q$ ),  $\psi_1$  (pro tzv. častou hodnotu  $Q$ ) a  $\psi_2$  (pro tzv. kvazistálou hodnotu  $Q$ ); v dalším se omezíme na hodnoty  $\psi_0$ , které se uplatňují v kombinacích pro trvalé a dočasné návrhové situace.

Pravidlo pro sestavení kombinací zatížení je v EC definováno (po úpravě) takto:

$$F_d = \gamma_G \cdot \sum G_{k,i} + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \gamma_Q \cdot \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}.$$

Tento zápis představuje tzv. kombinaci pro trvalé a dočasné návrhové situace (která je obdobou základní kombinace podle ČSN). Vyskytuje-li se v kombinaci jen jedno nahodilé zatížení, bere se bez kombinačního součinitele. Při výskytu dvou a více nahodilých zatížení je potřeba zatížení s největším účinkem uvažovat jako dominantní, které se bere bez snížení; ostatní nahodilá se snižují kombinačním součinitelem. Ve-

dle toho se v jistých případech rovněž sestavují kombinace, které obsahují mimořádné zatížení, nazývají se kombinace pro mimořádné návrhové situace, viz EC.

Dílčí součinitele zatížení  $\gamma_F$  jsou v následující tab., kombinační součinitele  $\psi_0$  uvedeme u jednotlivých druhů zatížení.

Tab. – Dílčí součinitele zatížení

Zatížení	Součinitel zatížení $\gamma_F$	
	Symbol	Hodnota
Stálé	$\gamma_{G,sup}$ <sup>1)</sup>	1,20
	$\gamma_{G,inf}$ <sup>2)</sup>	1,00
Nahodilé	$\gamma_Q$	1,40
<sup>1)</sup> Uvažuje se v případech, kdy stálé zatížení působí nepříznivě. <sup>2)</sup> Uvažuje se v případech, kdy stálé zatížení působí příznivě.		

### Tíha konstrukcí (z třídy stálých zatížení)

Tíha konstrukcí se skládá z vlastní tíhy nosné konstrukce, tíhy nenosných prvků a příp. též tíhy upevněného strojního vybavení.

Připomeňme, že podle ČSN se normová tíha stanoví podle geometrických a konstrukčních parametrů uvedených v projektu a podle hodnot objemové hmotnosti použitých materiálů. ČSN obsahuje rozsáhlou přílohu s objemovými hmotnostmi celé řady staviv a stavebních výrobků, přičemž převést objemovou hmotnost  $\rho$  v  $\text{kg/m}^3$  na objemovou tíhu  $\gamma$  v  $\text{kN/m}^3$  lze pomocí tíhového zrychlení  $g = 0,01 \text{ kN/kg}$ .

Součinitel zatížení pro tíhu konstrukcí nabývá hodnot  $1,1 \leq \gamma_f \leq 1,3$ , působí-li stálé zatížení nepříznivě; resp.  $\gamma_f = 0,9$ , působí-li stálé zatížení příznivě.

Podle EC se postupuje podobně, tzn. charakteristická tíha se stanoví podle geometrických a konstrukčních parametrů v projektu a dále podle hodnot objemové tíhy výchozích materiálů. EC totiž obsahuje pro různá staviva a stavební výrobky přímo hodnoty objemových tíh  $\gamma$  v  $\text{kN/m}^3$ , jejich databáze je však oproti ČSN chudší.

Dílčí součinitel zatížení  $\gamma_G$  byl uveden v úvodní části.

## Užitná zatížení stropů a střech (z třídy nahodilých zatížení)

Omezíme se pouze na konstrukce pozemního stavitelství, a dále na budovy obytné, společenské, obchodní a administrativní. Následující poznámky však platí nejen pro stropy a střechy, ale též pro schodiště, terasy a balkóny.

Připomeňme, že podle ČSN lze užitná zatížení nahradit rovnoměrným zatížením  $v_n$  v  $\text{kN/m}^2$ . Normová zatížení jsou podle způsobu užívání tabelována a nabývají hodnot

- pro stropy  $1,5 \text{ kN/m}^2 \leq v_n \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$ ,
- pro střechy  $0,75 \text{ kN/m}^2 \leq v_n \leq 4,0 \text{ kN/m}^2$ .

V závislosti na zatěžovací ploše a počtu podlaží mohou být ve výpočtu použity redukční součinitele  $\eta_1$  až  $\eta_5$ . Vedle toho je také třeba uvažovat soustředěné zatížení působící samostatně na čtvercové ploše o straně 100 mm, které nabývá hodnot od 0,5 do 2,0 kN.

Součinitel zatížení pro užitná rovnoměrná zatížení nabývá hodnot  $1,2 \leq \gamma_f \leq 1,4$ , pro užitné soustředěné zatížení se bere  $\gamma_f = 1,2$ .

Podle EC se postupuje analogicky, takže i tentokrát lze užitná zatížení nahradit rovnoměrným zatížením  $q_k$  v  $\text{kN/m}^2$ . Charakteristická zatížení jsou opět podle způsobu užívání tabelována a nabývají podobných hodnot

- pro stropy  $1,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_k \leq 6,0 \text{ kN/m}^2$ ,
- pro střechy  $0,75 \text{ kN/m}^2 \leq q_k \leq 6,0 \text{ kN/m}^2$ .

Ve výpočtu mohou být v závislosti na zatěžovací ploše a počtu podlaží rovněž použity redukční součinitele, tentokrát označené  $\alpha_A$  a  $\alpha_n$ . Vedle toho je opět potřeba uvažovat soustředěné zatížení působící samostatně, ovšem na čtvercové ploše o straně 50 mm, nabývající hodnot  $0,5 \text{ kN} \leq Q_k \leq 6,0 \text{ kN}$ .

Dílčí součinitel zatížení  $\gamma_Q$  byl uveden v úvodní části; kombinační součinitel užitných zatížení se bere

- $\psi_0 = 0,7$  pro obytné plochy, kanceláře, shromažďovací plochy a obchody,
- $\psi_0 = 1,0$  pro sklady.

## Zatížení sněhem (z třídy nahodilých zatížení)

Zatížení sněhem závisí na těchto faktorech:

- 1) klimatické poměry v dané lokalitě,
- 2) tvar zastřešení,
- 3) další faktory.

Připomeňme, že v ČSN:

ad 1) klimatické poměry se charakterizují základní tíhou sněhu  $s_0$  (kN/m<sup>2</sup>) pro příslušnou sněhovou oblast (v ČR se rozeznávají sněhové oblasti I, II, III, IV a V);

ad 2) tvar zastřešení se popisuje tvarovým součinitelem  $\mu_s$ , který závisí na sklonu střešních rovin  $\alpha$  (u jednoduchých tvarů střechy se bere  $\mu_s = 1,0$  pro  $\alpha \leq 25^\circ$  a  $\mu_s = 0$  pro  $\alpha \geq 60^\circ$ );

ad 3) u zastřešení jistých jednoduchých tvarů lze výsledné zatížení sněhem zmenšit součinitelem  $\kappa_s$ , dále u budov s významnými zdroji tepla lze redukovat tvarový součinitel  $\mu_s$ .

Potom normové zatížení sněhem na půdorysnou plochu zastřešení v kN/m<sup>2</sup> se stanoví

$$s_n = s_0 \cdot \mu_s \cdot \kappa_s,$$

kde součinitel  $\kappa$  zvětšuje výsledné zatížení sněhem v případě použití velmi lehkých střešních pláštů.

Součinitel zatížení se bere  $\gamma_f = 1,4$ .

V EC je to podobné:

ad 1) klimatické poměry se vyjadřují charakteristickou tíhou sněhu  $s_k$  (tj. zatížení sněhem na zemi);

ad 2) tvar zastřešení se popisuje tvarovým součinitelem  $\mu_i$ ;

ad 3) u zastřešení jistých jednoduchých tvarů lze výsledné zatížení sněhem redukovat součinitelem expozice  $C_e$ , dále u budov s významnými zdroji tepla lze výsledné zatížení redukovat součinitelem tepla  $C_t$  (stanovení těchto součinitelů, jakož i podmínky pro jejich použití uvádí NAD, který se odvolává na shodná ustanovení v ČSN), jinak  $C_e = 1,0$ , resp.  $C_t = 1,0$ .

Potom zatížení sněhem na střeše v kN/m<sup>2</sup> vztažené na půdorysnou plochu zastřešení (tzn. charakteristické zatížení sněhem) se stanoví

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k.$$

Charakteristická tíha sněhu  $s_k$  se určí podle příslušné sněhové oblasti, viz následující tab., NAD uvádí též převodní vztah

$$s_k = 1,5 \cdot s_0,$$

kde  $s_0$  je základní tíha sněhu podle ČSN, viz tutéž tab.

Na území ČR se rozeznávají sněhové oblasti I, II, III, IV a V, jejich vymezení, jakož i označení souhlasí se sněhovými oblastmi podle ČSN.

Tab. – Sněhové oblasti a souvisící parametry

Sněhová oblast	I	II	III	IV	V
Základní tíha sněhu $s_0$ (kN/m <sup>2</sup> ) dle ČSN	0,5	0,7	1,0	1,5	> 1,5
Charakteristická tíha sněhu $s_k$ (kN/m <sup>2</sup> ) dle EC	0,75	1,05	1,5	2,25	> 2,25

Tvarový součinitel  $\mu_i$ , který závisí na sklonu střešních rovin  $\alpha$ , se rozlišuje jako:

- $\mu_1$  – pro uspořádání vznikající při rovnoměrně rozložené sněhové pokrývce po celé střeše zpravidla tehdy, když sníh padá při velmi slabém větru nebo bezvětrí;
- $\mu_2$  – pro uspořádání vznikající buď vlivem počátečního nevyváženého rozložení např. místní návějí na překážku nebo přerozdělením sněhu, které ovlivňuje tvar zatížení na celé střeše, např. sníh přenesený z návětrné strany sedlové střechy na závětrnou (sfoukáváním);
- $\mu_3$  – pro uspořádání vznikající při sesunutí sněhu z horní části objektu (způsobené sklouznutím).

Tak např.  $\mu_1 = 0,8$  pro  $\alpha \leq 30^\circ$  a  $\mu_1 = 0$  pro  $\alpha \geq 60^\circ$  (mezilehlé hodnoty se interpolují podle přímky).

Dílčí součinitel zatížení  $\gamma_Q$  byl uveden v úvodní části; kombinační součinitel pro zatížení sněhem se bere  $\psi_0 = 0,6$ .

## Zatížení větrem (z třídy nahodilých zatížení)

Omezíme se pouze na statickou složku zatížení větrem.

Zatížení větrem závisí zejména na těchto faktorech:

- 1) klimatické poměry v dané lokalitě,
- 2) výška nad terénem a drsnost zemského povrchu,
- 3) tvar objektu (popsaný součiniteli udávajícími účinnost a rozložení zatížení větrem po povrchu objektu ve vzdušném proudu).

Připomeňme, že v ČSN:

- ad 1) klimatické poměry se charakterizují základním tlakem větru  $w_0$  (kN/m<sup>2</sup>) pro příslušnou větrovou oblast (v ČR se rozeznávají větrové oblasti III, IV, V a VI);
- ad 2) výška nad terénem a drsnost zemského povrchu se vyjadřují součinitelem výšky  $\kappa_w$  (ten se stanovuje odlišně pro terén typu A otevřený a terén typu B chráněný, jeho hodnoty významně rostou pro výšku  $z > 10$  m nad terénem, dále lze zvětšením součinitele  $\kappa_w$  uvážit i případné umístění objektu na strmém svahu);

ad 3) tvar objektu se popisuje tvarovými součiniteli  $C_w$  určujícími zatížení kolmé na plošnou jednotku povrchu objektu (kladné hodnoty značí tlak, záporným hodnotám odpovídá sání).

Potom normové zatížení větrem na povrchovou plochu objektu v  $\text{kN/m}^2$  se stanoví

$$w_n = w_0 \cdot \kappa_w \cdot C_w.$$

Součinitel zatížení se bere  $\gamma_f = 1,2$ .

V EC je to podobné:

ad 1) klimatické poměry se charakterizují referenčním středním tlakem větru  $q_{ref}$ ;

ad 2) výška nad terénem a drsnost zemského povrchu se vyjadřují součinitelem expozice  $c_e$ ;

ad 3) tvar objektu se popisuje součiniteli aerodynamického tlaku  $c_p$ .

Potom charakteristické zatížení větrem na povrchovou plochu objektu v  $\text{N/m}^2$  se stanoví

$$w = q_{ref} \cdot c_e \cdot c_p.$$

Referenční střední tlak větru v  $\text{N/m}^2$  se stanoví

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{ref}^2,$$

kde  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$  je měrná hmotnost vzduchu,

$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0}$  je referenční rychlost větru v  $\text{m/s}$ ,

kde  $c_{DIR}$  ..... součinitel směru větru, který zahrnuje zvýšení rychlosti větru pro různé směry v rozsahu úhlů  $\pm 15^\circ$  (pro ČR platí  $c_{DIR} = 1$ ),

$c_{TEM}$  .... součinitel dočasnosti, který zahrnuje zvýšení rychlosti větru pro konstrukce s dobou životnosti meší než 1 rok (pro ČR platí  $c_{TEM} = 1$ ),

$c_{ALT}$  ..... součinitel nadmořské výšky, který zahrnuje zvýšení rychlosti větru v závislosti na nadmořské výšce staveniště, viz tab.,

$v_{ref,0}$  ..... základní hodnota referenční rychlosti větru v  $\text{m/s}$ , viz tab.

Na území ČR se rozeznávají 2 větrové oblasti: oblast 1 odpovídá III. oblasti podle ČSN, oblas 2 zahrnuje oblasti IV, V i VI vymezené rovněž v ČSN.

Tab. – Větrové oblasti a souvisící parametry

		oblast 1	oblast 2
Referenční rychlost větru $v_{ref,0}$ (m/s)		24,0	26,0
Součinitel nadmořské výšky $c_{ALT}$ pro místa s nadmořskou výškou $a_s$ (m)	$a_s \leq 700$	1,0	1,0
	$700 < a_s \leq 1300$	1,25	1,16
	$a_s > 1300$	–	1,27



Součinitel expozice se stanoví

$$c_e = c_r^2 \cdot c_t^2 + 7 \cdot k_t \cdot c_r \cdot c_t,$$

kde  $c_r = k_t \cdot \ln \left( \frac{\max(z, z_{min})}{z_0} \right)$  je součinitel drsnosti,

$c_t$ ..... součinitel topografie, který zahrnuje zvýšení střední rychlosti větru nad osamělými kopci a skalními stěnami, v obvyklých případech  $c_t = 1,0$ ,

$k_t$ ..... součinitel terénu (závisí na kategorii terénu), viz tab.,

$z$ ..... referenční výška v m (odpovídá přibližně výšce nad terénem, podrobnosti v normě),

$z_{min}$ ..... minimální výška (tzn. výška nad terénem, do které je rychlost větru konstantní), viz tab.,

$z_0$  ..... třecí výška (závisí na kategorii terénu), viz tab.

Tab. – Kategorie terénu a souvisící parametry

Kategorie	Terén	$k_t$	$z_{min}$ (m)	$z_0$ (m)
I	Moře, jezera, plochá krajina bez překážek	0,17	2	0,01
II	Zemědělská půda (s živými plody a zemědělskými budovami)	0,19	4	0,05
III	Lesy, předměstské a průmyslové oblasti	0,22	8	0,3
IV	Města (kde 15 % plochy je zast. budovami vyššími než 15 m)	0,24	16	1

Součinitel aerodynamického tlaku  $c_p$ , který určuje zatížení kolmé na plošnou jednotku povrchu objektu, se určí podle příslušných ustanovení v EC. Má stejný fyzikální význam jako tvarový součinitel  $C_w$  v ČSN a v NAD se výslovně doporučuje použít pro případy, které EC neřeší, právě tvarový součinitel z ČSN.

Jeden příklad za všechny: pro volně stojící stěny (bez vedlejšího průčelí) je součet tlaku na návětrné straně a sání na závětrné straně dán hodnotou  $c_p = 2,1$ .

Dílčí součinitel zatížení  $\gamma_Q$  byl uveden v úvodní části; kombinační součinitel pro zatížení větrem se bere  $\psi_0 = 0,6$ .